Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 199-212

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۲۱۲-۱۹۹

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر نسبت تراکم و نوع سوخت بر عملکرد موتور دیزل دارای توربوشارژ با نرم‌افزار GT-Power

سعید احمدی پور[۱]، محمدحسین آق خانی[۲]*، جواد زارعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

چکیده

در موتورهای احتراق داخلی، نسبت تراکم و نوع سوخت مورد استفاده، دو فاکتور مهم و تأثیرگذار بر عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های خروجی می‌باشد. در تحقیق حاضر جهت بررسی ویژگی‌های عملکردی و آلاینده‌های خروجی با نسبت تراکم‌های مختلف و سوخت‌های جایگزین از حل عددی یک‌بعدی دینامیک سیالات محاسباتی با نرم‌افزار GT-Power جهت مدل‌سازی موتور دیزلی شش سیلندر تزریق مستقیم استفاده گردید. نسبت تراکم از ۱۵:۱ تا ۱۹:۱ با فاصله یک واحد و از سوخت‌های جایگزین سوخت مبنا (دیزل) شامل متانول، اتانول، ترکیب دیزل و اتانول، بیودیزل و دکان استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل، مقایسه‌ای بین داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های تجربی (شامل گشتاور و توان) صورت گرفت که نتایج نشان داد که خطای اعتبارسنجی، کمتر از ۶/۱۲ درصد است که این موضوع معرف اعتبار قابل قبول مدل نرم‌افزاری است. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که با افزایش نسبت تراکم، سوخت دکان نسبت به سوخت مبنا دارای توان و گشتاور ترمزی بالاتری در حدود ۳/۸۶ درصد و مصرف سوخت ویژه ترمزی به مقدار ۳/۷۲ درصد به دلیل تولید توان بالاتر، کاهش یافته است. در ضمن اینکه با کاهش نسبت تراکم نسبت به حالت مبنا، مقدار CO و CO_2 با سوخت بیودیزل و دیزل دارای حداقل مقدار و کمترین انتشار NO_X با سوخت دکان حاصل گردیده است. در حالت کلی نتایج نشان داد که سوخت دکان با نسبت تراکم ۱۷:۱ می‌تواند جایگزین خوبی نسبت به سوخت دیزل در موتورهای دیزلی باشد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های خروجی، عملکرد، موتور دیزل، نرم‌افزار GT-Power، نسبت تراکم

مقدمه

امروزه با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی، کاهش منابع سوخت فسیلی، ضرورت سالم نگه‌داشتن محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق‌رسانی و تأمین سوخت، استفاده حداکثر از سوخت‌های مصرفی و افزایش توان خروجی موتورهای دیزلی، تحقیق فراوان در این زمینه را به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل می‌کند. یکی از بزرگترین معضلات شهرهای بزرگ ایران، مسئله آلودگی وسایل نقلیه می‌باشد. عدم استفاده از سوخت مناسب در خودروهای دیزلی منجر به افزایش مرگ و میر ناشی از آلایندگی و رشد سرطان ریه در این شهرها شده است. از موارد ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که سوخت‌های فسیلی علی‌رغم قیمت استحصال پایین، هزینه‌های زیادی را بر سلامت جامعه و محیط‌زیست وارد می‌کند. راه‌حل غلبه بر این بحران کاهش منابع تولیدکننده آلاینده‌ها از مبدا تولید این آلاینده‌ها می‌باشد. در موتورهای احتراق داخلی، نسبت تراکم و نوع سوخت مورد استفاده دو فاکتور مهم و تأثیرگذار در عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های خروجی می‌باشند. در پژوهشی محققان به بررسی اثر نسبت تراکم بر عملکرد موتور اشتعال تراکمی تزریق مستقیم[۴] و خصوصیات انتشار آلاینده در سوخت دیزل مخلوط شده با اتانول پرداختند. نتایج تجربی نشان داد که بازده حرارتی ترمزی[۵] موتور با افزایش نسبت تراکم برای تمام مخلوط‌ها، افزایش و مصرف سوخت ویژه ترمزی[۶] کاهش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که مصرف سوخت ویژه ترمزی با سوخت‌های ترکیبی افزایش می‌یابد و هنگامی‌که نسبت تراکم از ۱۵ به ۱۹ افزایش یابد، انتشار HC و CO به‌شدت کاهش و انتشار NO_X به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Rao, 2017). در موتور دیزلی نسبت تراکم متغیر[۷] با سوخت‌های ترکیبی الکلی، افزایش نسبت تراکم موجب افزایش NOx و انتشار CO_2 و مخلوط کردن الکل با سوخت دیزل موجب کاهش معنی‌داری در بازده حرارتی ترمزی و در نتیجه افزایش مصرف سوخت ویژه می‌گردد (SerinYıldızhan, 2017). در تحقیق

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دکتری مکانیک، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: aghkhani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.71613

4- Direct injection compression ignition
5- Brake thermal efficiency
6- Brake specific fuel consumption
7- Variable compression ratio

تجربی اثرات تغییر نسبت تراکم بر عملکرد موتور و گازهای خروجی با استفاده از ترکیب سوخت دیزل و پالم بررسی شد. نتایج نشان داد که مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده حرارتی کاهش و مقدار انتشار NO_X افزایش می‌یابد (Aldhaidhawi *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای تأثیر تغییرات نسبت تراکم بر عملکرد موتور دیزل چهارزمانه بررسی شد. این موتور دارای سامانه نسبت تراکم متغیر می‌باشد. نسبت تراکم موتور چهار سیلندر در بازه‌ی ۱۶:۱ تا ۲۰:۱ تغییر داده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که با افزایش نسبت تراکم، دمای خروجی اگزوز، گشتاور و توان ترمزی موتور افزایش و بازده حجمی موتور و مصرف سوخت ویژه کاهش می‌یابد (Atefi *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر بیودیزل حاصل از روغن چربی طیور بر عملکرد موتور تراکتور پرداخته شد. در این تحقیق از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل روغن چربی طیور و دیزل استفاده شد. نتایج نشان داد که گشتاور و توان موتور توسط این ترکیبات افزایش یافت که دلیل آن به‌سوزی بیودیزل در اثر اکسیژن‌دار بودن آن می‌باشد. همچنین مصرف سوخت ویژه به دلیل ارزش حرارتی پایین بیودیزل نسبت به سوخت دیزل در تمام ترکیبات افزایش یافت. نتایج نشان داد که موتور با سوخت B_{20} بهترین عملکرد را دارد (Bavafa *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای به ارزیابی تجربی از بیودیزل سبوس برنج–سوخت بیولوژیکی موتور دیزلی با سوخت دوگانه در نسبت تراکم‌های مختلف پرداخته شد. در بار کامل، حداکثر بازده حرارتی ترمزی و حداکثر جایگزینی سوخت مایع[1] تحت حالت سوخت دوگانه با کاهش نسبت تراکم کاهش می‌یابد. به‌طور متوسط، میزان انتشار مونوکسید کربن و انتشار هیدروکربن‌ها با افزایش نسبت تراکم کاهش و NO_X و CO_2 افزایش می‌یابد (BoraSaha, 2016). در تحقیقی محققان به بررسی تجربی تأثیر چربی بوقلمون (TRFB) در تولید بیودیزل بر روی احتراق، عملکرد و انتشار گازهای خروجی از اگزوز در یک موتور دیزل پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر فشار سیلندر و حداکثر سرعت آزادسازی حرارت مخلوط‌های TRFB بیشتر از سوخت دیزل (DF) برای تمام بارهای موتور به علت پایین بودن عدد ستان TRFB و سوختن سریع سوخت جمع شده در محفظه احتراق در طول تأخیر احتراق است. مشاهده شد که سوخت دیزل دارای دمای خروج گاز بیشتر از مخلوط بیودیزل در بارهای بالا است و این موضوع به دلیل مدت بیشتر احتراق سوخت دیزل است. مقادیر بازده حرارتی ترمزی مخلوط‌های TRFB کمتر از DF در تمام بارها بود. از آنجایی که مقدار گرمایش بیودیزل پایین‌تر از سوخت دیزل است، مشاهده شد که مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی TRFB نسبت به DF بالاتر است. علاوه بر این، ترکیبات TRFB10، TRFB20 و TRFB50 سبب کاهش کدری دود و افزایش ناگهانی انتشار اکسید نیتروژن می‌شود (Emiroğlu *et al.*, 2018). در تحقیقی محققان تأثیر سوخت زیستی دوگانه (Jatropha و Turpentine) در یک موتور تک سیلندر دیزلی با نسبت تراکم متغیر را مورد بررسی قرار دادند. ترکیب زیستی سوخت دوگانه (JBT 50) با بار کامل و نسبت تراکم ۲۰، موجب افزایش ۲/۱۷ درصد در بازده حرارتی ترمزی و افزایش ۱۳/۰۴، ۱۷/۵، ۴/۲۱ و ۳۰/۸ درصد در HC، CO و NOx و کدری دود درحالی‌که CO_2 به ۱۱/۰۴ درصد افزایش یافت (DubeyGupta, 2018). همچنین اثرات مخلوط سوخت دیسترول (شامل سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول) بر میزان انتشار گازهای خروجی از موتورهای دیزل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از مخلوط سوخت دیسترول، قدرت و گشتاور موتور دقیقاً ثابت نیست، انتشار گازهای هیدروکربنی حدود ۱۰ درصد کاهش یافته و دی‌اکسید کربن در حدود ۷ درصد افزایش می‌یابد. به‌طورکلی، با استفاده از مخلوط سوخت D91B6E3، موتور تست‌شده بهترین راندمان، عملکرد و انتشار را دارد (Noorollahi *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای به اثرات افزودن H_2 بر احتراق و انتشار گازهای خروجی در یک موتور دیزل پرداخته شد. در این تحقیق از نرم‌افزار AVL Fire برای مدل عددی موتور استفاده شد. نتایج نشان داد که فشار سیلندر و نرخ آزاد شدن گرما ابتدا افزایش و پس از افزودن H_2 کاهش یافته همچنین انتشار NO افزایش در حالی‌که انتشار PM کاهش می‌یابد (Yang *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای محققان به بررسی شبیه‌سازی نسبت‌های تراکم بر احتراق و انتشار گازهای خروجی برای موتور با سوخت دوگانه متانول و دیزل پرداختند. شبیه‌سازی عددی سه بعدی در فرآیند احتراق و انتشار گازهای خروجی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار AVL FIRE انجام شد. این مطالعه نشان داد که با کاهش نسبت تراکم، تاخیر احتراق، تاخیر در زمان اشتعال، حداکثر سرعت افزایش فشار و حداکثر دمای احتراق در سیلندر، زاویه میل لنگ، مقدار انتشار NO_X کاهش و انتشار دوده افزایش می‌یابد (Zhang *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای محققان به مدل‌سازی و بررسی تجربی عملکرد موتور و انتشار گازهای خروجی با سوخت بیودیزل تولید شده از درخت Australian Beauty Leaf پرداختند. در این مطالعه یک مدل احتراق موتور با استفاده از نرم‌افزار سیالات محاسباتی AVL Fire، برای پیش‌بینی عملکرد و انتشار گازهای خروجی با سوخت بیودیزل و دیزل توسعه یافته است و مدل احتراق با داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی معتبر است که نشان می‌دهد توافق بسیار خوبی بین آنها وجود دارد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که سوخت بیودیزل (B10) باعث بهبود کمی در عملکرد و کاهش قابل ملاحظه انتشار گازهای خروجی موتور می‌شود (Hassan *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای محققان به بررسی شبیه‌سازی احتراق و ویژگی‌های انتشار گازهای خروجی سوخت ترکیبی n-Butanol / Diesel در موتور دیزل پرداختند. فرآیند احتراق در این موتور با استفاده از AVL FIRE ESE Diesel شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر فشار و دمای احتراق به‌تدریج افزایش

1- Liquid fuel replacement

می‌یابد و گرمای آزاد انباشته شده با افزودن n-Butanol کمی کاهش می‌یابد. مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش اما بازده حرارتی کاهش می‌یابد. جرم دوده به‌طور قابل‌توجهی کاهش و جرم NOx در ابتدا کاهش و سپس با افزودن n-butanol افزایش می‌یابد (Wu *et al.*, 2014). در سال‌های گذشته، شبیه‌سازی عددی به دلیل کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت سیستم‌های محاسباتی، پیشرفت زیادی دیده است. با این پیشرفت، الگوریتم‌های ریاضی قادر به انجام درست مشکلات حقیقی هستند. برای بررسی کیفیت و مشکل شبیه‌سازی عددی، مدل اعتبارسنجی برای تعیین شباهت بین واقعیت و شبیه‌سازی لازم است. برای تایید اینکه نتایج یک راه حل عددی کاملاً با واقعیت سازگار است، باید اطمینان حاصل شود که روش عددی دقیقاً معادلات مدل‌سازی ریاضی را حل می‌کند. در تحقیق حاضر برای حل این معادلات از نرم‌افزار GT-Power که برخلاف نرم‌افزارهای حل سه‌بعدی معادلات دینامیک سیالات مانند AVL Fire، مسائل را بر پایه حل یک‌بعدی معادلات دینامیک سیالات محاسباتی انجام می‌دهد استفاده کردیم.

در هرحال، همان‌طور که اشاره شد در سال‌های اخیر در ایران کم‌وبیش تحقیقاتی پیرامون نسبت تراکم و سوخت‌های مختلف به‌صورت جداگانه انجام شد لیکن تاکنون به شبیه‌سازی موتورهای دیزل با نسبت تراکم، سوخت و دورهای مختلف با نرم‌افزار GT-Power به‌صورت جامع مبادرت نشده است. لذا در این مطالعه، هدف به‌دست آوردن بهترین نوع سوخت جایگزین با سوخت‌های فسیلی خصوصاً سوخت مورد استفاده در خودروهای دیزلی در شرایط بهینه بودن عملکرد موتور و آلاینده های خروجی با توجه به تغییر نسبت تراکم در یک موتور دیزلی دارای توربو شارژر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موتور مورد مطالعه در این تحقیق یک موتور شش سیلندر دیزل پاشش مستقیم مدل 6068HF275 ساخت شرکت John Deere آمریکا می‌باشد. مشخصات این موتور در جدول ۱ نشان داده شده است.

نحوه انجام شبیه‌سازی

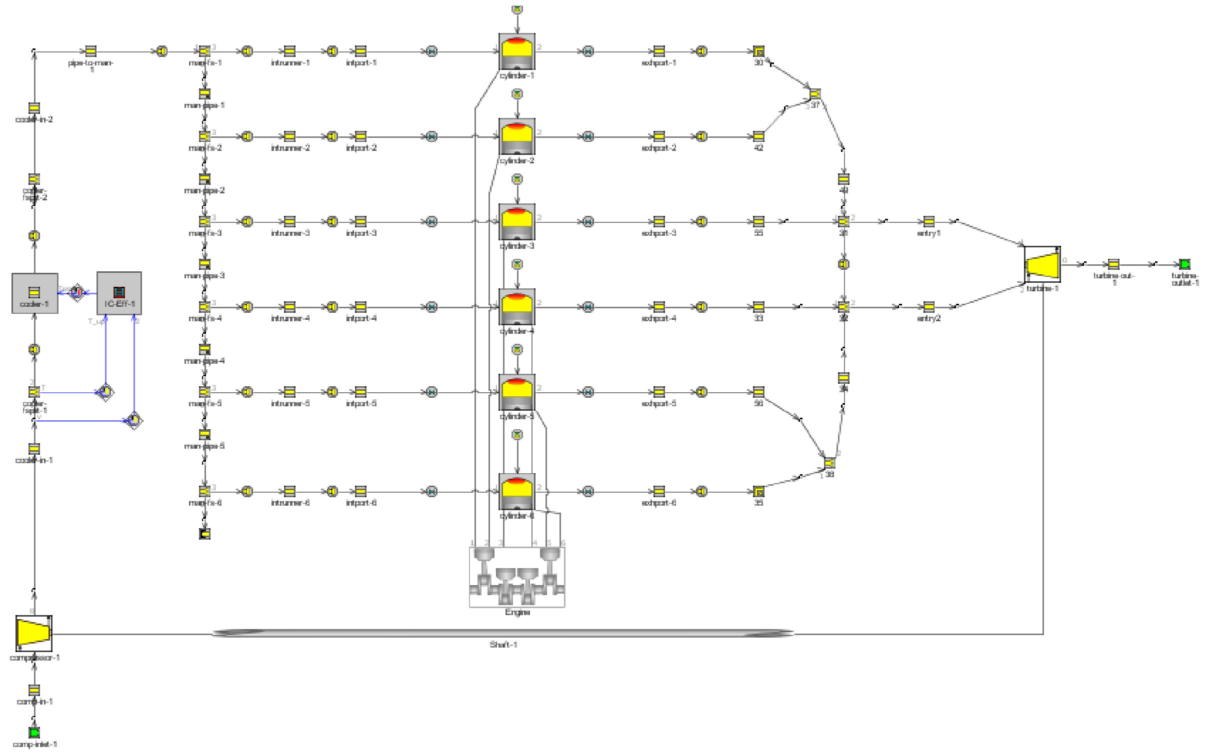
در این تحقیق برای بررسی نحوه تأثیر نسبت تراکم و نوع سوخت بر عملکرد موتور، موتور شش سیلندر نشان داده شده در شکل ۱ توسط نرم‌افزار GT-Power شبیه‌سازی شده است. جهت انجام این تحقیق ابتدا تمامی قسمت‌های موتور همانند یک موتور شش سیلندر واقعی مدل و سپس داده‌های مورد نیاز براساس شرایط واقعی موتور در فشار ۱ اتمسفر محیط در نرم‌افزار وارد گردیده است. در ضمن اینکه جرم تزریق در هر سیکل موتور ۹۶ میلی‌گرم و طول کورس تزریق ۲۰ درجه انتخاب گردیده است و دور موتور از ۸۰۰ تا ۲۴۰۰ دور بر دقیقه تغییر کرده و با تغییر دور، آوانس دو درجه‌ای در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی موتور دیزل John Deere 6068HF275

Table 1- Technical specifications of diesel engine John Deere 6068HF275

مشخصات موتور **Engine characteristics**	مقدار **Value**
تعداد سیلندر Number of cylinders	6
حجم موتور Displacement	6.8 L
تعداد سوپاپ Number of valves	12
قطر سیلندر Cylinder bore	106 mm
کورس Stroke	127 mm
طول شاتون Connecting rod length	270 mm
زمان پاشش استاندارد Standard injection timing	4 BTDC
نسبت تراکم Compression ratio	17
حداکثر گشتاور Maximum torque	740-930 N m @ 1400 RPM
حداکثر توان Maximum power	129-187 kW @ 2000-2400 RPM

نرم‌افزار GT-Power بخشی از نرم‌افزار GT-Suite و تولید شرکت گاما تکنولوژی می‌باشد که در آن قابلیت شبیه‌سازی موتور و متعلقات آن وجود دارد. محاسبات عددی در این نرم‌افزار بر پایه حل یک‌بعدی معادلات دینامیک سیالات شامل پدیده‌های مربوط به حرکت جریان، انتقال حرارت در لوله و دیگر اجزای موتور می‌باشد.



شکل ۱– مدل محاسباتی موتور شش سیلندر، تزریق مستقیم، اشتعال تراکمی

Fig.1. Computational model of a six-cylinder, direct-injection, compression-ignition engine

معادلات حاکم بر جریان

مدل‌سازی جریان شامل حل معادلات ناویر استوکس (پیوستگی، مومنتوم و انرژی) می‌باشد که مطابق رابطه (۱) تا (۳) محاسبه می‌شوند.

$$\frac{dm}{dt} = \sum_{boundaries} \dot{m} \qquad (۱)$$

$$\frac{dme}{dt} = -P\frac{dV}{dt} + \sum_{boundaries} \dot{m}H - hA_s(T_{fluid} - T_{wall}) \qquad (۲)$$

$$\frac{d\dot{m}}{dt} = \frac{dpA + \sum_{voundaries} \dot{m}u - 4C_f \frac{\rho u|u|}{2}\frac{dxA}{D} - C_p\left(\frac{1}{2}\rho u|u|\right)A}{dx} \qquad (۳)$$

در نرم‌افزار GT-Power این معادله‌ها به‌صورت یک‌بعدی حل می‌شوند. این بدین معناست که تمامی معادله‌ها در جهت جریان میانگین‌گیری می‌شوند (Fogliarino, 2014). در این تحقیق برای حل معادلات از حل صریح استفاده شد به‌طوری‌که متغیرهای پایه در حل صریح دبی، چگالی و انرژی داخلی می‌باشند. در حل صریح سیستم به حجم‌های کوچک تقسیم‌شده که در آن تمامی منشعب‌کننده‌ها به یک زیر حجم و همه لوله‌ها به یک حجم یا بیشتر از آن تقسیم خواهند شد. متغیرهای اسکالر (فشار، دما، چگالی، انرژی داخلی، آنتالپی وغیره) در مرز هریک از زیر حجم‌ها یکنواخت فرض می‌شوند. متغیرهای برداری (فلاکس جرم، سرعت، فلاکس درصد جرمی و غیره) برای هر مرز محاسبه می‌شوند. در روابط (۱) تا (۳)، $h\ (W.m^{-2}.K^{-1})$ ضریب انتقال حرارت، $T_{fluid}(K)$ دمای سیال، $T_{wall}(K)$ دمای دیواره، $u(m.s^{-1})$ سرعت، C_f ضریب اصطکاک سطح، C_p ضریب افت فشار، $D(m)$ قطر معادل، dx طول گسسته‌سازی، dp اختلاف فشار در یک dx، $\dot{m}(Kg.s^{-1})$ دبی جرمی، m(kg) جرم، $V(m^3)$ حجم، $p(N.m^{-2})$ فشار، $\rho(kg.m^{-3})$ چگالی، $A(m^2)$ مساحت سطح مقطع، $A_s(m^2)$ مساحت انتقال حرارت و e(J) انرژی کل می‌باشند.

انتخاب گام زمانی

در این نرم‌افزار انتخاب گام زمانی به نوع حل‌گر مورد استفاده ارتباط دارد. در روش صریح فشار، دما و غیره به‌صورت مستقیم و بدون تکرار و سعی و خطا محاسبه می‌شوند. ارتباط گام زمانی و طول

گسسته‌سازی از طریق عدد کورنت ایجاد می‌شود. گام زمانی باید به نحوی انتخاب شود تا رابطه (۴) برقرار باشد.

$$\frac{\Delta t}{\Delta x}(|u|+C) \leq 0.8 \times m \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، $\Delta t(s)$ گام زمانی، $\Delta x(m)$ طول گسسته‌سازی، $u(m.s^{-1})$ سرعت سیال، $C(m.s^{-1})$ سرعت صوت و m ضریب گام زمانی است که توسط کاربر تعیین می‌شود و از صفر تا ۱ متغیر است.

انتقال حرارت

در این نرم‌افزار انتقال حرارت از سیال در داخل لوله‌ها و چندراهی‌ها به کمک ضریب انتقال حرارت در هر گام زمانی به کمک سرعت سیال، مشخصات ترمودینامیکی، فیزیکی و زبری سطح محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضریب انتقال حرارت در لوله‌های صاف از رابطه کولبرن استفاده می‌شود که در رابطه (۵) ارائه شده است.

$$h_g = \frac{1}{2} C_f \rho U_{eff} C_p Pr^{-\frac{3}{2}} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، Cf ضریب اصطکاک، ρ چگالی، $U_{eff}(m.s^{-1})$ سرعت مؤثر، $C_p(j.kg^{-1}.K^{-1})$ ظرفیت گرمایی ویژه و Pr عدد پرانتل می‌باشد. در مقدار ضریب انتقال حرارت زبری سطح بسیار مؤثر است به‌خصوص در لوله‌های با زبری بالا مانند Iron Cast و Iron Aluminum. در این حالت ابتدا مقدار h از رابطه (۵) به‌دست می‌آید سپس به کمک رابطه (۶) اصلاح می‌شود.

$$h_{g,rough} = h_g \left(\frac{C_{f,rough}}{C_f}\right)^n \qquad (۶)$$

$$n = 0.68 \times Pr^{0.215}$$

مدل‌سازی احتراق

در موتورهای دیزل برای این که یک احتراق کامل انجام پذیرد، به‌ازای هر گرم سوخت تقریباً ۳۲ گرم هوا نیاز است. در ضمن از آنجایی که وزن یک لیتر هوا (یکی دسی‌متر مکعب) در حدود ۱/۳ گرم است، می‌توان گفت که به‌ازای هر گرم سوخت، تقریباً ۲۴/۶ لیتر هوا مورد نیاز است که در این حالت نسبت هم‌ارزی برابر یک انتخاب می‌گردد. اما در یک موتور دارای توربوشارژر این نسبت با توجه به دور موتور و تغییر نسبت تراکم متفاوت می‌باشد چرا که در دورهای بالا عملاً به علت عدم زمان کافی، شرایط نرمال ایجاد نمی‌شود که البته در موتور دارای توربوشارژر تا حدودی این مشکل مرتفع می‌گردد. لذا نرم‌افزارهای موجود برای مدل‌سازی موتور در شرایط نرمال از روش‌های متعددی کمک گرفته‌اند که از جمله استفاده از روش‌های ایزونتروپیک، راوو، وشنی و غیره می‌باشد.

تقریب زدن توابع تحلیلی نرخ سوزش در موتورهای احتراق داخلی ابزارهای مفید و مقرون‌به‌صرفه برای شبیه‌سازی چرخه موتور می‌باشند. در این تحقیق از تابع Wiebe برای پیش‌بینی میزان سوختگی در موتورهای احتراق داخلی که با سیستم‌های مختلف احتراق و سوخت کار می‌کنند استفاده کردیم. از تابع Wiebe برای محاسبه نرخ آزاد شدن انرژی به‌ازای زاویه لنگ استفاده می‌شود. این تابع که به تابع ریکاردو نیز معروف است، از طول سوزش و ورودی مستقل پارامترهای تابع شکل برای محاسبه نرخ جرمی سوزش استفاده می‌کند. کسر جرم سوخته متراکم به‌صورت تابعی از زاویه لنگ در رابطه (۷) نشان داده شده است.

$$W = 1 - \text{Exp}\left[-\text{AWI}\left(\frac{\Delta\theta}{\text{BDUR}}\right)^{\text{WEXP}}\right] \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، w کسر جرمی مخلوط سوخته شده، $\Delta\theta$ زمان سپری شده از احتراق، AWI ضریب تابع وایب، WEXP توان تابع وایب، BDUR مدت زمان سپری شده بر حسب زاویه لنگ برای سوختن جرم مخلوط ۱۰ الی ۹۰ درصد از مخلوط می‌باشد.

مدل‌سازی اصطکاک

در این تحقیق برای مدل‌سازی اصطکاک مکانیکی از مدل Chenn-Flynn استفاده شد که در رابطه (۸) ارائه شده است.

$$\text{FMEP} = C + (\text{PF} \times P_{max}) + (\text{MPSF} \times \text{Speed}_{mp}) + (\text{MPSSF} \times \text{Speed}_{mp}^2) \qquad (۸)$$

در رابطه (۸)، FMEP کسر متوسط فشار مؤثر، $P_{max}(bar)$ بیشترین فشار درون سیلندر، $\text{Speed}_{mp}(m.s^{-1})$ سرعت متوسط پیستون، C ثابتی از قسمت کسر متوسط فشار مؤثر، PF(bar) فاکتور پیک فشار سیلندر، $\text{MPSF}(m.s^{-1})$ فاکتور متوسط سرعت پیستون، MPSSF فاکتور متوسط مربع سرعت پیستون می‌باشد.

مشخصات سیال

در فرآیند شبیه‌سازی موتور ۶ سوخت بررسی شد. نرم‌افزار GT-Suite کتابخانه‌ای شامل انواع سیالات پرکاربرد و مشخصات و ویژگی‌های آن‌ها را دارا است و سیالاتی که در این کتابخانه موجود نیست را می‌توان به‌صورت دستی در این نرم‌افزار وارد کرد. در این نرم‌افزار علاوه بر وارد کردن مشخصات سوخت غیرقابل تراکم باید مشخصات بخارات سوخت را نیز وارد کرد تا در صورت تبخیر، مشخصات سیال قابل پیش‌بینی باشد. سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دیزل، اتانول، ترکیب ۱۰درصد اتانول و دیزل، بیودیزل حاصل از روغن سویا، دکان و متانول است که برخی از خواص مهم سوخت‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

اعتبار مدل با استفاده از نتایج تجربی و شبیه‌سازی

شایع‌ترین روش اعتبارسنجی استفاده از نتایج تجربی است و داده‌های تجربی نشان می‌دهد که مدل، سازگار با واقعیت است. برای تایید نتایج یک شبیه‌سازی، رسیدن به بالاترین شباهت بین داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های تجربی ضروری است. مهم‌ترین مسئله برای محاسبات محیط شبیه‌سازی این است که سعی کنید کل مجموعه یا حداقل مهم‌ترین ویژگی‌های مرتبط با موتور را مدل کنید. در غیر این

صورت، نتایج شبیه‌سازی، خطای غیرواقعی را نشان نمـی‌دهـد و باعـث خطای اعتبارسنجی می‌شود.

جدول ۲- خواص مهم سوخت‌های مورد استفاده

Table 2- Important properties of used fuels

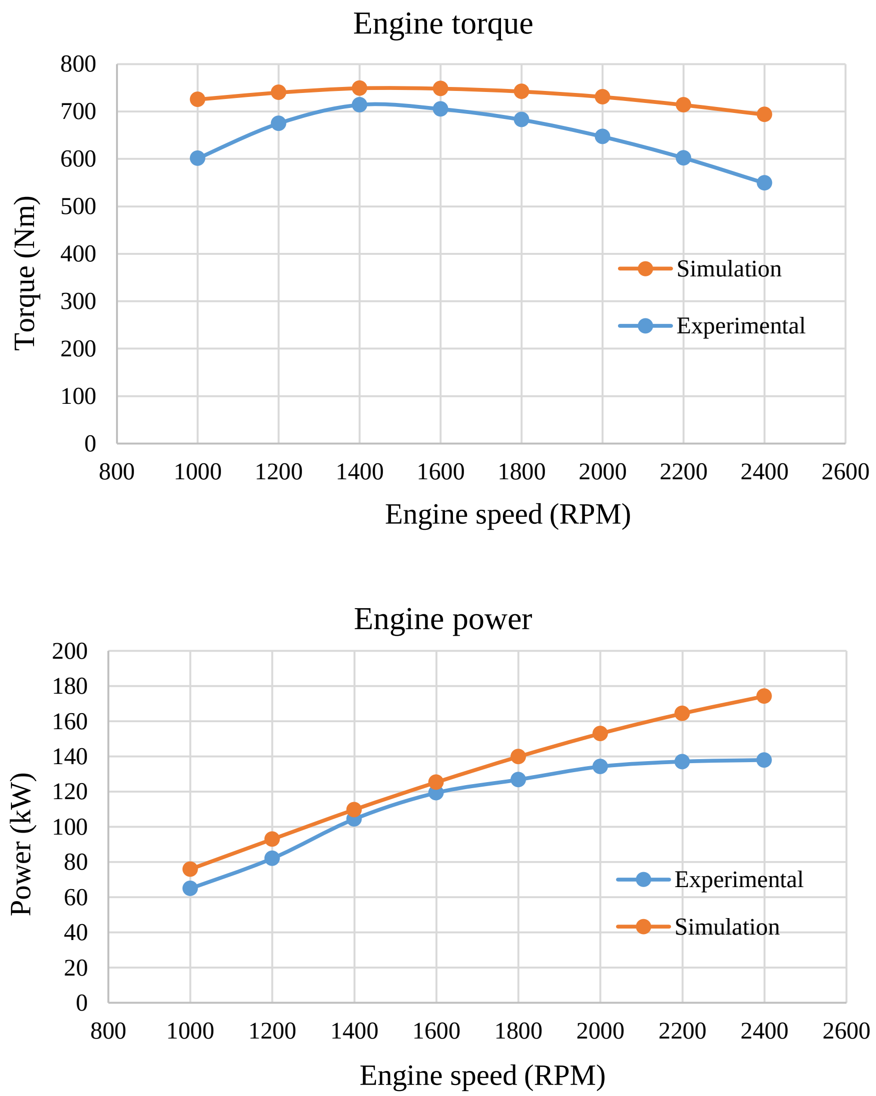
ویژگی‌های سوخت **Fuel properties**	واحد **Unit**	دیزل Diesel	اتانول Ethanol	متانول Methanol	بیودیزل Biodiesel	دکان Decane	دیزل-اتانول Diesel-Ethanol
چگالی Density	m s^{-1}	830	785	792	890	727	825
حرارت تبخیر در ۲۹۸ کلوین Heat vaporization at 298k	MJ kg^{-1}	0.25	0.92	1.17	0.35	0.36	0.317
اتم‌های اکسیژن در هر مولکول Oxygen atoms per molecule	…	0	1	1	34.39	0	0
اتم‌های هیدروژن در هر مولکول Hydrogen atoms per molecule	…	23.6	6	4	2	22	21.84
اتم‌های کربن در هر مولکول Carbon atoms per molecule	…	13.5	2	1	18.82	10	12.35
ارزش حرارتی پایین Lower heating value	MJ kg^{-1}	43.25	27.73	21.11	37.11	44.62	41.7
دمای بحرانی Critical temperature	k	569.4	516	513	785.87	617.8	564.06
فشار بحرانی Critical pressure	bar	24.6	6.38	79.5	12.07	21.1	22.77
نقطه جوش Boiling point	k	463.15	351.65	337.63	624.1	447.27	452
دمای اشتعال Ignition temperature	k	527.15	638.15	738.15	533.15	483.15	538.25
گرانروی جنبشی kinematic viscosity@ 40˚C	mm^2 s^{-1}	2.2	1.32	0.58	5.63	2.36	2.11
عدد ستان Cetane number	…	52	7	5	60.1	76	47.5

محاسبه درصد خطا اجازه می‌دهد تا مقایسه مقدار تجربی با یک مقدار دقیق انجام شود. درصد خطا، اختلاف بین مقادیر تقریبی و دقیقی را به‌عنوان یک درصد از ارزش دقیق می‌دهد و می‌تواند کمک کند تا ببینیم که چه‌قدر اطلاعات تجربی یا تخمین نزدیک به یک مقدار واقعی است. درصد خطا از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$\text{error} = \frac{|\text{simulation value} - \text{experimental value}|}{\text{experimental value}} \times 100 \qquad (۹)$$

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر جهت بررسی ویژگی‌های عملکردی و آلاینده‌های خروجی با نسبت تراکم‌های مختلف و سوخت‌های جایگزین از حل عددی یک‌بعدی دینامیک سیالات محاسباتی با نرم‌افزار GT-Power جهت مدل‌سازی یک موتور دیزلی شش سیلندر استفاده گردید. در این مطالعه، نتایج تجربی به‌دست آمده از تست موتور، برای اعتبارسنجی مدل، مورد استفاده قرار گرفته است؛ نتیجه تجربی مورد استفاده برای اهداف اعتبارسنجی، گشتاور و قدرت موتور است. شکل ۲، تغییر شکل گشتاور و قدرت را به‌صورت تابع سرعت برای داده‌های تجربی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد. بنابراین، با استفاده از رابطه (۹) و داده‌های تجربی و شبیه‌سازی، درصد خطا کم است. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های گشتاور و توان تجربی، با خطایی کمتر از ۶/۱۲ درصد مطابقت دارد. بنابراین برای اعتبارسنجی نرم‌افزار قابل قبول است (Arul Mozhi Selvan *et al.*, 2009; Eaton, 2014; Kelley, 1999). مطالعات هوگ نشان داد که خطای ۲۰ درصد در محاسبه، در ارزیابی و اعتبارسنجی بین آزمایش و مدل‌های عددی توافق خوبی دارد (HoggLedolter, 1987).



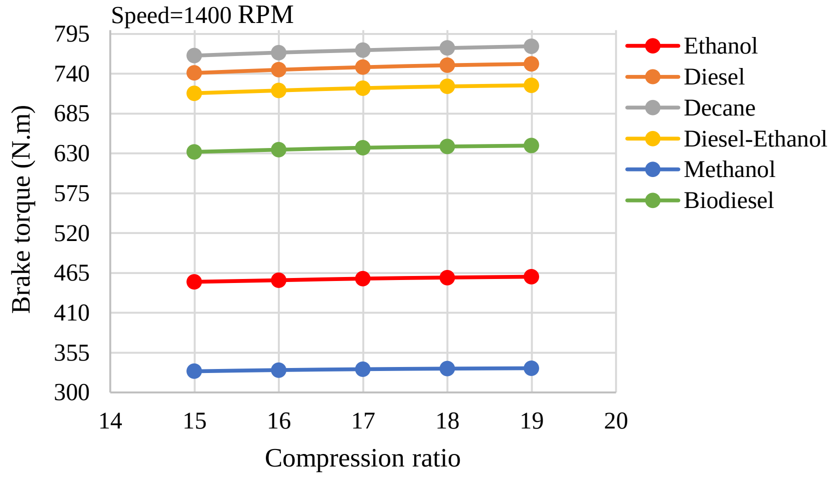
شکل ۲- منحنی گشتاور موتور و قدرت در برابر سرعت موتور (مقایسه داده‌های تجربی و شبیه‌سازی)

Fig.2. Curve of engine torque and power versus engine speed (comparison of experimental and simulation data)

مشخصات عملکردی

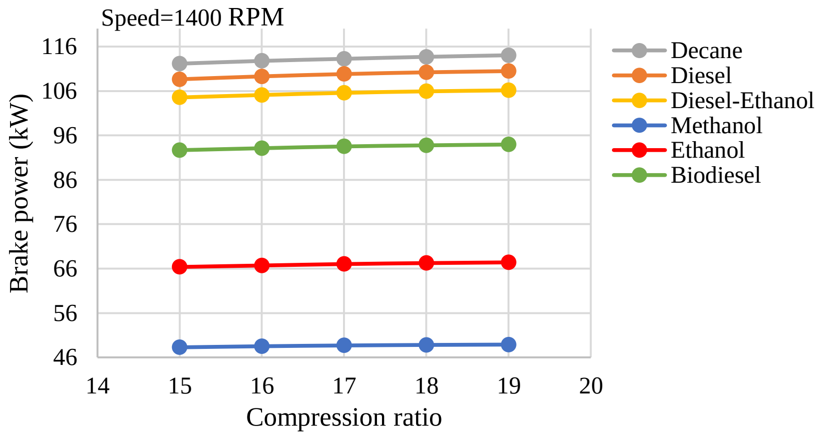
توان ترمزی و گشتاور ترمزی

تغییرات گشتاور ترمزی و توان ترمزی در شش سوخت مختلف و به‌صورت تابعی از نسبت تراکم در سرعت دورانی ثابت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نسبت تراکم، توان ترمزی و گشتاور ترمزی افزایش می‌یابد و در بین سوخت‌های استفاده شده در این موتور، بیشترین توان ترمزی و گشتاور ترمزی در نسبت تراکم ۱۹ به سوخت دکان با ۳/۸۶ درصد بیشتر از حالت مبنا و کمترین توان ترمزی و گشتاور ترمزی در نسبت تراکم ۱۵ با ۵۶/۰۴ درصد کمتر از حالت مبنا به سوخت متانول تعلق گرفت. در سرعت دورانی ۱۴۰۰ دور بر دقیقه که در این موتور حداکثر گشتاور با توجه به نتایج فوق مشخص گردیده است، توان ترمزی موتور با یک نسبت مشخص افزایش یافته است چرا که بعد از این دور افزایش توان و گشتاور روابط مشخصی ندارد و ممکن است به دلایل کاهش راندمان حجمی افزایش و یا کاهش یابد. همچنین سوخت بیودیزل با توجه به اینکه دارای اکسیژن بیشتر و احتراق کامل‌تر می‌باشد (Nagaraja *et al.*, 2015) اما به دلیل اینکه دارای ارزش حرارتی پایین‌تر می‌باشد نسبت به سوخت‌های دکان، دیزل و مخلوط دیزل و اتانول دارای توان و گشتاور ترمزی کمتری می‌باشد.



شکل ۳– گشتاور ترمزی در نسبت تراکم مختلف

Fig.3. Brake torque at different compression ratio



شکل ٤– توان ترمزی در نسبت تراکم مختلف

Fig.4. Brake power at different compression ratio

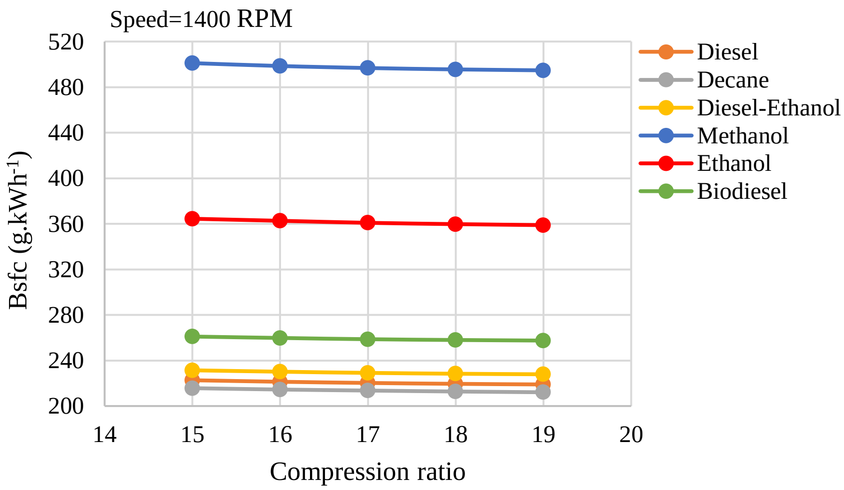
مصرف سوخت ویژه ترمزی

BSFC به‌عنوان نسبت مصرف سوخت به توان ترمزی تعریف می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است با افزایش نسبت تراکم، مصرف سوخت ویژ ترمزی کاهش می‌یابد که این موضوع به دلیل تولید توان بیشتر نسبت به سوخت مصرف شده در موتور می‌باشد (Fu *et al.*, 2017; SayinBalki, 2015). سوختی که دارای ارزش حرارتی پایین‌تری باشد باید با جرم بیشتری به موتور تزریق گردد که این خود باعث افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌شود. در این تحقیق سوخت دکان با نسبت تراکم ۱۹ با کاهش ۳/۷۲ درصدی دارای کمترین مصرف سوخت ویژه ترمزی در بین سوخت‌های دیگر است.

مشخصات آلایندگی

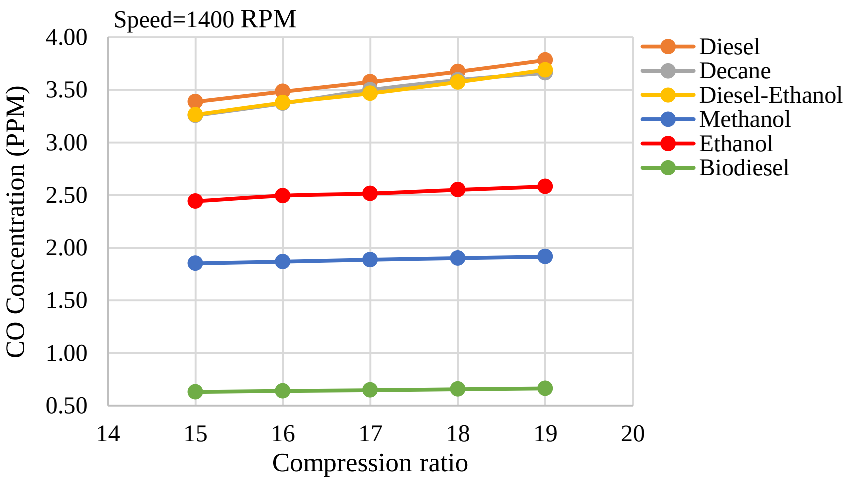
انتشار CO

انتشار CO از موتور عمدتاً به خواص سوخت، در دسترس بودن اکسیژن، مخلوط سوخت با هوا، دما و آشفتگی در داخل اتاق احتراق بستگی دارد. با توجه به شکل ۶ با افزایش نسبت تراکم انتشار CO افزایش می‌یابد و انتشار CO در سوخت بیودیزل با نسبت تراکم ۱۵ نسبت به حالت مبنا ۸۲/۳۷ درصد کاهش یافته است و در سوخت ترکیبی دیزل و اتانول در نسبت تراکم ۱۹ نسبت به حالت مبنا ۳/۲۲ درصد افزایش یافته است. با توجه به شکل ۶ انتشار CO در سوخت دکان نیز نسبت به سوخت دیزل کمتر است.



شکل ۵– مصرف سوخت ویژه ترمزی در نسبت تراکم مختلف

Fig.5. Brake specific fuel consumption at different compression ratio

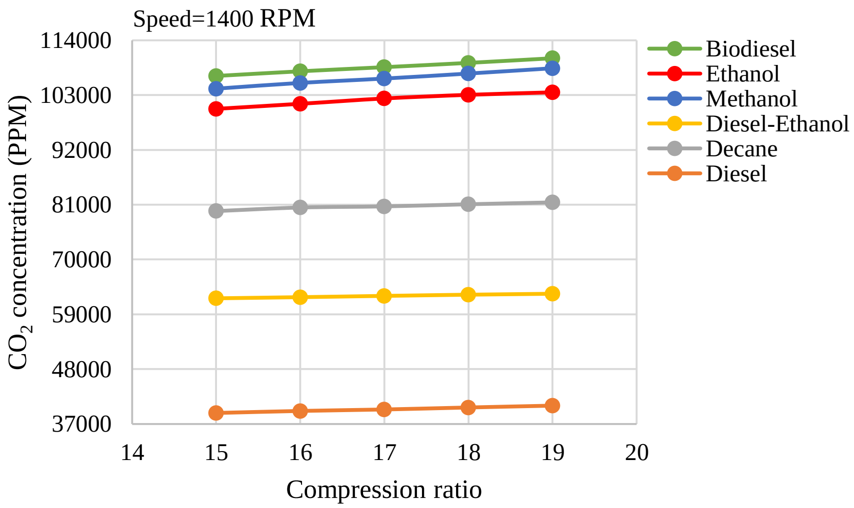


شکل ٦– انتشار CO در نسبت تراکم مختلف

Fig.6. CO emission at different compression ratio

انتشار CO_2

با توجه به شکل ۷، با افزایش نسبت تراکم انتشار CO_2 افزایش می‌یابد و در همه‌ی سوخت‌ها انتشار CO_2 نسبت به حالت مبنا افزایش یافته است. سوخت دیزل در نسبت تراکم ۱۵ کمترین مقدار CO_2 را در بین سوخت‌های مورد استفاده داشته است. مقدار بیشتر CO_2 نشان‌دهنده احتراق کامل سوخت در محفظه احتراق است. انتشار CO_2 خیلی برای انسان مضر نیست، اما منجر به افزایش پتانسیل تخریب ازن و گرم شدن کره زمین می‌شود (MuralidharanVasudevan, 2011).

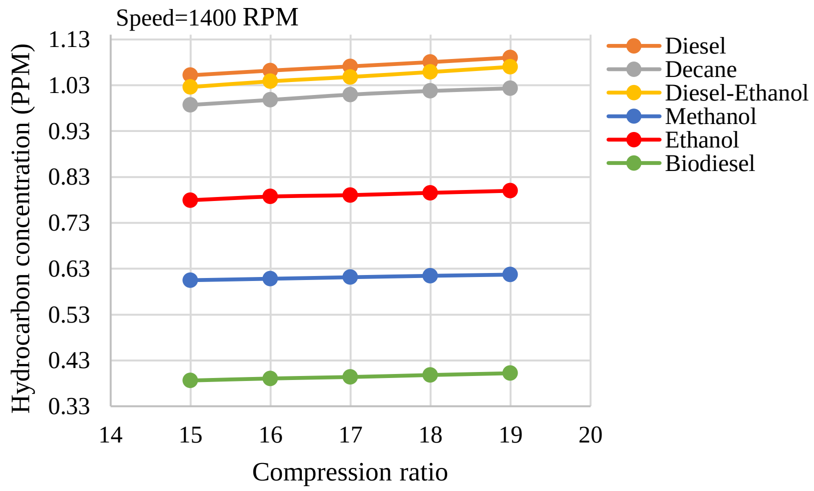


شکل ۷– انتشار CO_2 در نسبت تراکم مختلف

Fig.7. CO_2 emission at different compression ratio

انتشار HC

با توجه به شکل ۸ با افزایش نسبت تراکم انتشار HC افزایش یافته است و همه‌ی سوخت‌ها نسبت به سوخت دیزل دارای انتشار HC کمتری هستند. با توجه به شکل ۸ انتشار HC در سوخت بیودیزل با نسبت تراکم ۱۵ نسبت به حالت مبنا ۶۳/۹۳ درصد کاهش یافته است. علت اینکه همه‌ی سوخت‌ها نسبت به سوخت دیزل دارای انتشار HC کمتری هستند می‌تواند به دلیل تأخیر طولانی‌مدت احتراق باشد، چون سوخت بیشتری در محفظه احتراق انباشته می‌شود ممکن است منجر به انتشار هیدروکربن بالاتر شود (Nagaraja *et al.*, 2013).

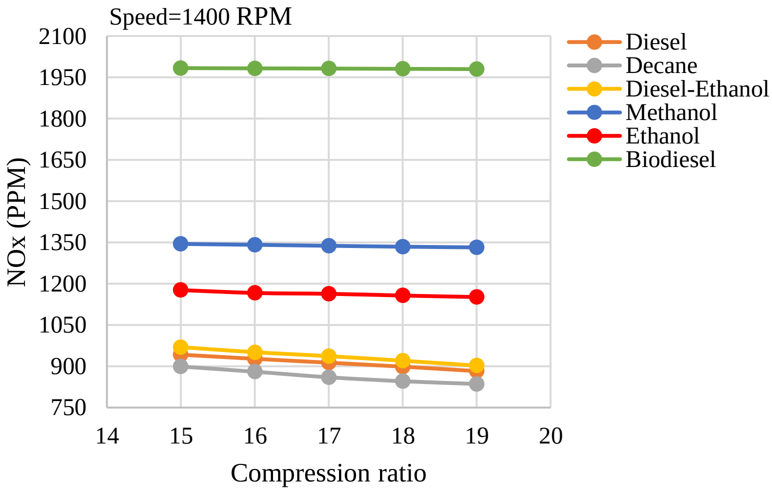


شکل ۸– انتشار HC در نسبت تراکم مختلف

Fig.8. HC emission at different compression ratio

انتشار NO_X

مکانیسم حرارتی سوخت، درجه حرارت احتراق، مقدار اکسیژن و مدت‌زمان حضور گاز سوخت مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل NOx هستند. با توجه به شکل ۹ با افزایش نسبت تراکم مقدار NO_X کاهش یافته است. ویسکوزیته و چگالی سوخت‌ها در انتشار NO_X تأثیرگذار است و به دلیل اینکه قطرات بزرگ‌تری از سوخت ایجاد می‌شود موجب انتشار NO_X می‌شود (Singh *et al.*, 2017). با توجه به شکل ۹ بیشترین انتشار NO_X مربوط به سوخت بیودیزل است که در نسبت تراکم ۱۵ نسبت به حالت مبنا ۱۱۷/۳۵ درصد افزایش یافته است و این به دلیل درصد اکسیژن بالای این سوخت است و کمترین انتشار NO_X در نسبت تراکم ۱۹ با ۸/۴۸ درصد کاهش نسبت به حالت مبنا مربوط به سوخت دکان می‌باشد و این به دلیل کم بودن چگالی این سوخت نسبت به سوخت‌های دیگر است.



شکل ۹- انتشار NO_X در نسبت تراکم مختلف

Fig.9. NO_X emission at different compression ratio

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد و انتشار آلاینده‌های یک موتور شش سیلندر با استفاده از سوخت‌های مختلف و تغییرات نسبت تراکم مورد بررسی قرار گرفت که شامل نتایج زیر می‌باشد:

۱- مقادیر توان و گشتاور با افزایش نسبت تراکم و تغییر نوع سوخت افزایش و بهبود مقدار آن با استفاده از سوخت دکان نسبت به سوخت مبنا با نسبت تراکم ۱۹:۱حدود ۳/۸۶ درصد است.

۲- نتایج نشان داد که با افزایش نسبت تراکم، مصرف سوخت ویژه کاهش می‌یابد و سوخت دکان در نسبت تراکم ۱۹ با ۳/۷۲ درصد کاهش مصرف سوخت ویژه نسبت به حالت مبنا، کمترین مصرف سوخت ویژه را نسبت به سایر سوخت‌ها داراست.

۳- نتایج نشان داد که با افزایش نسبت تراکم، آلاینده‌های CO، CO_2 و HC افزایش و آلاینده NO_X کاهش یافته است. انتشار CO و HC در سوخت بیودیزل با نسبت تراکم ۱۵ نسبت به حالت مبنا به‌ترتیب با ۸۲/۳۷ و ۶۳/۹۳ درصد بیشترین کاهش را داشته‌اند و سوخت دکان نیز نسبت به دیزل دارای انتشار CO و HC کمتری بوده است.

۴- نتایج نشان داد که سوخت‌هایی که چگالی و ویسکوزیته بالایی دارند مقدار بیشتری NO_X تولید می‌کنند ازاین‌رو، کمترین مقدار NO_X مربوط به سوخت دکان بود. همچنین بیشترین انتشار NO_X مربوط به سوخت بیودیزل در نسبت تراکم ۱۵ بود و با افزایش نسبت تراکم، مقدار NO_X کاهش یافت.

۵- نتایج تحقیق نشان داد که سوخت دکان با نسبت تراکم ۱۹ در مجموع دارای بهترین ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی در بین شش سوخت استفاده شده در این مطالعه را دارد. بنابراین این سوخت می‌تواند بهترین جایگزین برای سوخت دیزل باشد.

References

1. Aldhaidhawi, M., R. Chiriac, V. Bădescu, H. Pop, V. Apostol, A. Dobrovicescu, M. Prisecaru, A. Alfaryjat, M. Ghilvacs, and A. Alexandru. 2016. Performance and emission of generator Diesel engine using methyl esters of palm oil and diesel blends at different compression ratio. Pages 012135. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Publishing.
2. Arul Mozhi Selvan, V., R. Anand, and M. Udayakumar. 2009. Combustion characteristics of Diesohol using biodiesel as an additive in a direct injection compression ignition engine under various compression ratios. Energy and Fuels 23: 5413-5422.
3. Atefi, A., S. A. Hosseini, and S. Kamgar. 2011. Investigating the effect of compression ratio changes on four-stroke diesel engine performance. in First National Conference on Agricultural Mechanization and New Technologies. Ahvaz, Iran. (In Farsi).
4. Bavafa, M., M. Tabasizade, A. Farzad, B. Ghobadian and H. Eshghi. 2016. Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 14-24. (In Farsi).
5. Bora, B. J., and U. K. Saha. 2016. Experimental evaluation of a rice bran biodiesel–biogas run dual fuel diesel engine at varying compression ratios. Renewable Energy 87: 782-790.
6. Dubey, P., and R. Gupta. 2018. Influences of dual bio-fuel (Jatropha biodiesel and turpentine oil) on single cylinder variable compression ratio diesel engine. Renewable Energy 115: 1294-1302.

7. Eaton, D. A .2014 .PyRAD: assembly of de novo RADseq loci for phylogenetic analyses. Bioinformatics 30: 1844-1849.
8. Emiroğlu, A. O., A. Keskin, and M. Şen. 2018. Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine. Fuel 216: 266-273.
9. Fogliarino, M. 2014. Crankcase pressure control in an internal combustion engine: GT-Power simulation.
10. Fu, J., J. Shu, F. Zhou, J. Liu, Z. Xu, and D. Zeng. 2017. Experimental investigation on the effects of compression ratio on in-cylinder combustion process and performance improvement of liquefied methane engine. Applied Thermal Engineering 113: 1208-1218.
11. Hassan, N., M. Rasul, and C. A. Harch. 2015. Modelling and experimental investigation of engine performance and emissions fuelled with biodiesel produced from Australian Beauty Leaf Tree. Fuel 150: 625-635.
12. Hogg, R. V., and J. Ledolter. 1987. Engineering statistics. Macmillan Pub Co.
13. Kelley, C. T. 1999. Iterative methods for optimization. Siam.
14. Muralidharan, K., and D. Vasudevan. 2011. Performance, emission and combustion characteristics of a variable compression ratio engine using methyl esters of waste cooking oil and diesel blends. Applied Energy 88: 3959-3968.
15. Nagaraja, S., M. Sakthivel, and R. Sudhakaran. 2013. Combustion and performance analysis of variable compression ratio engine fueled with preheated palm oil-diesel blends.
16. Nagaraja, S., K. Sooryaprakash, and R. Sudhakaran. 2015. Investigate the effect of compression ratio over the performance and emission characteristics of variable compression ratio engine fueled with preheated palm oil-diesel blends. Procedia Earth and Planetary Science 11: 393-401.
17. Noorollahi, Y., M. Azadbakht, and B. Ghobadian. 2018. The effect of different diesterol (diesel–biodiesel–ethanol) blends on small air-cooled diesel engine performance and its exhaust gases. Energy 142: 196-200.
18. Rao, K. S. 2017. Studying the Effect of Compression Ratio on DI-CI Engine Performance and Emission Characteristics Fueled with Ethanol Blended Diesel. International Journal of Applied Engineering Research 12: 3426-3430.
19. Sayin, C., and M. K. Balki. 2015. Effect of compression ratio on the emission, performance and combustion characteristics of a gasoline engine fueled with iso-butanol/gasoline blends. Energy 82: 550-555.
20. Serin, H., and Ş. Yıldızhan. 2017. Influence of the compression ratio on the performance and emission characteristics of a vcr diesel engine fuelled with alcohol blended fuels. Eur Mech Sci (EMS) 1: 39-46.
21. Singh, D., K. Subramanian, M. Juneja, K. Singh, S. Singh, R. Badola, and N. Singh. 2017. Investigating the effect of fuel cetane number, oxygen content, fuel density, and engine operating variables on NOx emissions of a heavy duty diesel engine. Environmental Progress and Sustainable Energy 36: 214-221.
22. Wu, J., H. M. Wang, L. L. Zhu, and Y. Hua. 2014 .Simulation Investigation about Combustion and Emission Characteristics of n-Butanol/Diesel Fuel Mixture on Diesel Engine. Pages 763-768. Applied Mechanics and Materials: Trans Tech Publ.
23. Yang, Z., C. Chu, L. Wang, and Y. Huang. 2015. Effects of H2 addition on combustion and exhaust emissions in a diesel engine. Fuel 139: 190-197.
24. Zhang, X. D., Y. N. Yuan, and J. Y. Du. 2015. Simulation Research of the Effect of Compression Ratios on Combustion and Emission for Methanol/Diesel Dual Fuel Engine. Pages 78-82. Applied Mechanics and Materials: Trans Tech Publ.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 199-212

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۲۱۲-۱۹۹

The Effect of Compression Ratio and Alternative Fuels on the Performance of Turbocharged Diesel Engine by GT-POWER Software

S. Ahmadipour[1], M. H. Aghkhani[2*], J. Zareei[3]

Received: 12-03-2018
Accepted: 01-08-2018

Introduction

Today, maximizing the efficiency of fuels and increasing the output power of diesel engines is considered inevitable due to the increasing need for energy resources, the reduction of fossil fuel resources, the need to maintain the environment, reduce air pollution, and limit the electricity supply and fuel supply. In the large cities of Iran, the problem of vehicle pollution is one of the main problems. The lack of proper fuel, soot filters, and absence of requirement for a technical inspection of diesel vehicles have led to an increase in mortality and the growth of lung cancer due to pollution. All of studies indicate that fossil fuels, despite the low cost of production, will increase the cost of both living and environment. A solution for this crisis is to reduce the sources of pollutant-producing sources from the source of these pollutants. In the internal combustion engines, the compression ratio and alternative fuels are two important factors affecting engine performance and exhaust emission.

Materials and Methods

In this research, a one-dimensional computational fluid dynamics solution with GT-Power software was used to simulate a six-cylinder diesel engine to study the performance and exhaust emissions with different compression ratios and alternative fuels. The compression ratio was chosen to be 15:1 to 19:1 with an interval at unity. Alternative fuels such as (as base diesel), methanol, ethanol, diesel and ethanol, biodiesel and decane were selected. To modeling engine, first, all parts of the engine were introduced as a real six-cylinder engine, and then the required data were entered according to the actual engine conditions at the atmospheric pressure of one atmosphere. Before this investigation was carried out, a validation model for evaluation was done by experimental and simulation data. The validation results showed that software model error is acceptable and the model has a good capability of fitting and predicting.

Results and Discussion

The engine performance was evaluated in terms of engine power, engine torque, and specific fuel consumption at different engine compression ratio and fuel. The results showed that with increasing the compression ratio, brake power and brake torque increased. Among the fuels used in this engine, the maximum brake power and brake torque in the compression ratio of 19 with the decane fuel were 3.86% higher than that the base fuel and the lowest value was awarded in the compression ratio of 15, with methanol fuel and it was equal with 56.04%. The results indicated that by increasing compression ratio, the brake specific fuel consumption was reduced due to more power than the fuel consumed in the engine. A fuel with lower heating value should be injected more mass to the engine. This will increase the brake specific fuel consumption. In this research, the decane fuel with a compression ratio of 19 with a reduction of 3.72% had the lowest brake specific fuel consumption among other fuels. The CO emission from the engine largely depended on the fuel's properties, the availability of oxygen, the fuel mix with air, temperature, and turbulence inside the combustion chamber. The results highlighted that by increasing compression ratio, CO emission increased and CO emission in biodiesel fuel, with a compression ratio of 15, was decreased by 82.37% compared to the base. CO_2 emissions are not too harmful to humans, but they increase the potential for ozone depletion and global warming. With increasing compression ratio, CO_2 and HC emissions increased for all fuels, CO_2 emissions have risen up the base. The fuel heating mechanism, combustion temperature, oxygen content, and gas fuel availability are the most important factors in the formation of NO_x. With increasing the compression ratio, the amount of NO_X increases, which is due to the high temperature in the cylinder at a higher compression ratio. The viscosity and density of fuels have an effect on NO_X emission, and because of the larger droplets of the fuel, it released NO_X. The highest NO_x emissions from biodiesel fuel are due to the high oxygen content of this fuel and the lowest NO_x emissions from decane fuel, due to the low density of the fuel compared to other fuels.

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Ph.D. Mechanical, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: aghkhani@um.ac.ir)

Conclusions

The results of this study showed that the decane fuel with a compression ratio of 19 in total had the best functional and pollutant characteristics among the six fuel used in this study. Therefore, this fuel can be the best alternative for diesel fuel.

Keywords: Compression ratio, Diesel engine, Exhaust emissions, GT-Power software, Performance